

住宅の温熱環境の実態調査

田 中 辰 明 郡 公 子

Investigations of Thermal Environments in Residential Buildings

Tatsuaki Tanaka Kimiko Kohri

Abstract

The results of measurements of thermal environments in a residential building which is highly insulated and which has a semi-underground room are described in this paper. Natural room air temperatures in summer and winter are different because of the influences of opening and closing of windows. The room air temperature in winter can be kept high by free heat such as incident solar energy and heat released from cooking.

Rooms were heated up to around 30°C by electric heaters to obtain overall heat conductions of the rooms which can be calculated with data of changes in room air temperature and heat input. The results of the experiments show that the period of heating the room needs more than 24 hours especially in case of a large thermal capacity of the room.

概 要

住宅の温熱環境の実態調査のため、都内戸建て住宅の測定を行なった。半地下室を有する高断熱気密住宅で、窓の開放によって夏季は冬季と自然温度性状が異なること、冬季は透過日射と調理器具などの発熱の暖房効果だけで良好な室内環境を保っていることがわかった。また、室の熱特性の測定方法として強制加熱実験を取り上げ実施した。これは強制的に室を加熱し、室内の温度上昇から総括熱貫流率を求めるものである。この結果、熱容量が大きい室の場合24時間以上の加熱が必要であることがわかった。

1. はじめに

住宅の温熱環境は建物の熱特性と居住者のすまい方によって造られる。生活習慣を踏まえた温熱環境の評価手法をつくるには、まず実態調査を積み重ねる必要がある。今回はその一つとして、都内戸建て住宅の各室室温を測定したので報告する。

室の熱特性の指標として総括熱貫流率がある。各部位の熱貫流率より計算で求めることも可能だが、測定により求める方式に強制加熱実験がある。重み関数を用いた最も簡単な熱的系を前提とし、加熱した室内の室温上昇から総括熱貫流率を求める。既存住宅の熱特性評価に適しており、熱容量の大きい室に適用する場合を検討した。

2. 測定概要

測定住宅は RC 造 2 階建て、半地下室を有する。図一 1 に 1 階平面図及び断面図を示す。半地下室には付設温室があり居室として使われている。地上部分の外壁は 40 mm 発泡ポリスチレンによる外断熱、半地下室は内側に

も 25 mm 発泡ポリスチレンが施されている。開口部は二重ガラス、屋根は通気層のある二重屋根構造になっている。

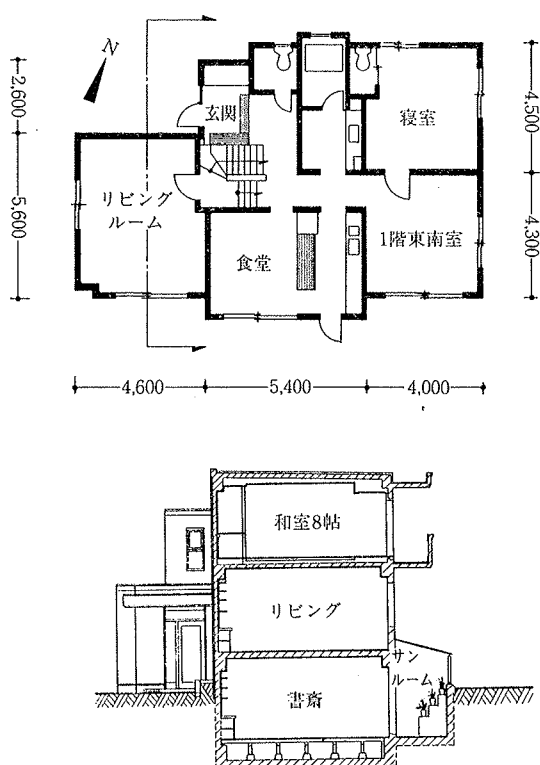
各室の室温は熱電対に輻射熱を防ぐためのアルミ箔円筒をかぶせ、床上約 1.2 m に設置し測定した。測定期間は夏季 7/16~8/2、冬季 12/2~12/25 である。データは多点デジタル記録計で 3 分間隔にサンプリングし、解析には 1 時間の平均を用いた。冬季にはすまい方の影響を調査するため、窓、ドアの開閉、照明の ON-OFF、在室人員数、ガスレンジの使用状態等の行動記録を各室とった。

リビングルームの強制加熱実験は電気ヒータ 3 台、合計 2.5 kw で 14 時間加熱した。実験中は室が気密になるようドアの隙間をテープで目貼りした。透過日射量を把握するため南と西の窓に面して日射計を設置した。解析には 15 分間の平均を用いた。

3. 測定結果と考察

3.1. 建物の熱特性と通気気密性

建物の断熱性、熱容量等の熱特性が温度によく表われ

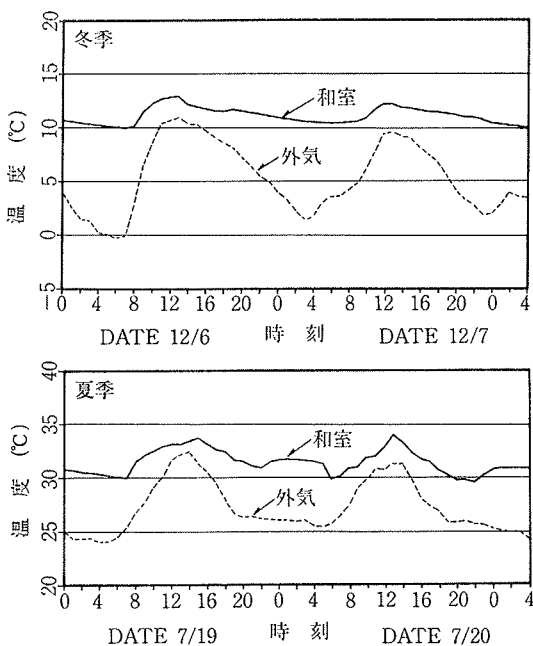


図一 測定住宅の1階平面図および断面図

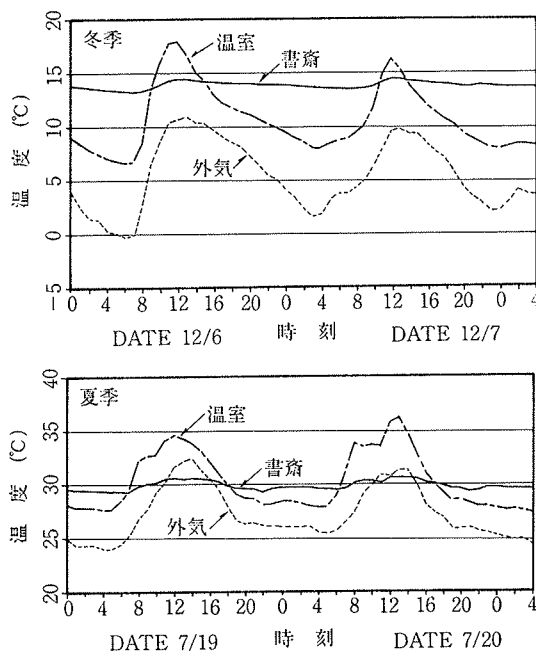
るのは室が気密に保たれる冬季の内部発熱の少ない室である。この住宅は断熱気密性があり外断熱がなされた室は熱容量が大きい。和室は2階の南西にある。図一2の和室の冬季の室温変動は外壁貫流より透過日射によって起きており、熱容量が大きいため室温の低下はゆるやかである。夏季には日中窓を開放して通風をはかるため室温変動が大きくなる。夜窓を閉めると壁体に蓄熱された

熱が流出し室にもって室温が上昇する。これは高断熱で熱容量が大きい故の現象だが夜間冷却を行えば利点に転じ得る。温室付設半地下室はこの住宅の特徴である。夏季冬季とも測定中は半地下室に測定機器を設置していたため、通常より350W程度大きい内部発熱があった。図一3より半地下室の室温は冬季14℃でほぼ一定で、他の室より2~3deg高い室温を保ち続けた。夏季は29~30℃で冬季と同様日サイクルの変動はわずかである。和室と異なり通風の効果はみられない。冬季の環境は良好だが、夏季は夜間の強制換気等積極的な手法を考える必要がある。このような温室付設室は明らかに冬季対策型で、夏季にどのように温室の熱を逃がすかも問題となる。この温室は夏季に温室上部の窓をあけて暖められた空気を外に出せるようになっている。外気と温室の温度差は夏季に2~4deg、冬季に5~7deg、である程度の効果は認められる。また、冬季には夜間も温室温度が高めで、温室内のコンクリート壁の蓄熱効果と思われる。

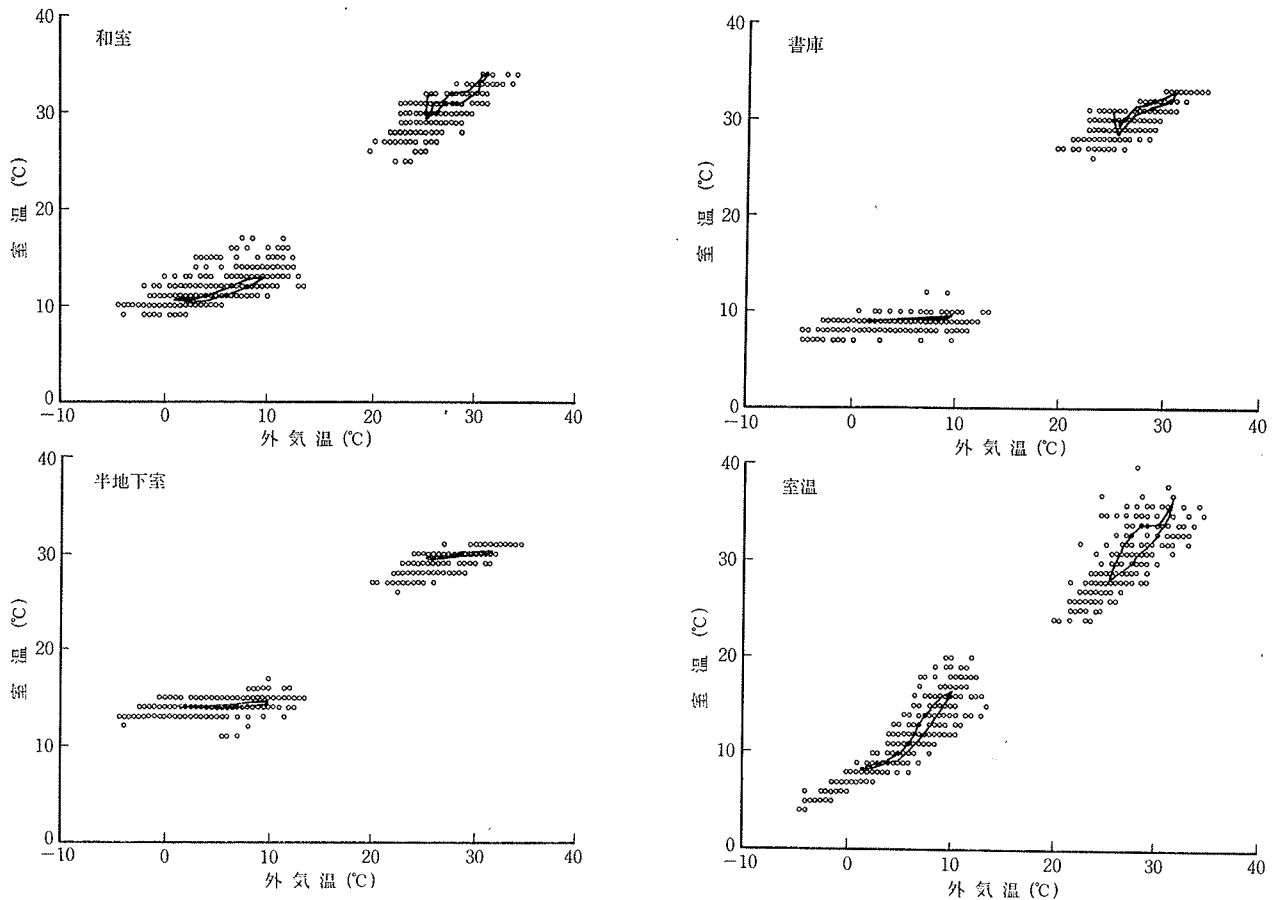
図一4は室温と外気温の相関を示したもので、夏季冬季それぞれ19日間のデータより作成した。更に各季節から1日選んで時間を追った変動曲線を重ねて描いた。室温変動の要因となるものは外壁からの貫流熱、透過日射、隙間風あるいは通風換気、それに内部発熱である。外気温との相関が強くなるのは外壁貫流熱が多く、隙間風あるいは通風換気が多い場合、すなわち断熱気密性の之しい場合である。また透過日射の影響が強いとばらつきが激しくなる。断熱気密住宅は外部からの熱の侵入はよく遮断するが内部の熱は排除しにくいと言われる。し



図一2 和室の室温変動



図一3 半地下室の室温変動



図一4 各室の室温と外気温の相関

かし、和室の相関図からわかるように、季節に応じて、窓の開閉により建物の通気気密性が調節されている。書庫は同じ2階の北側の室で、透過日射はほとんどない。夏季は通風のため室間の特性の差が薄らぐが、冬季にはその差が明確になる。半地下室は年サイクルの変動が主で夏から冬にゆるやかに向う。温室は断熱性がなく透過日射が強い場合である。一般に住宅は毎日一定時間一定温度に保つ空調がされず、生活も夏季と冬季で異なるため解析には日サイクルと年サイクルの変動を両面からとらえる必要がある。

3.2. 居住者の住まい方

測定した住宅は建物自体の熱特性が優れているため、機械力にあまり頼っていない。冬季に各室ともほとんど暖房はしていない。そのため、カーテン、ドアの開閉や内部発熱が温熱環境の形成に影響してくる。図一5、6には食堂と、こたつを使用している1階東南室の室温変動とその時の行動記録を示している。食堂にはヒートポンプが据えられているが、全く使われていない。南に面する室で日当たりが良い。下の階は常時18~19°Cの機械室である。日が沈む頃は夕食時で、透過日射にかわってガスレンジ等の調理器具や人体、照明の発熱が室を暖める。室の熱容量が大きいいため日射の影響が夜にも残り、

その上に内部発熱による昇温分が重なっている。日中から夜にかけての室温は低くて16~17°C、高い時には22°Cにまで達しており、暖房していないにもかかわらず十分に良い環境を保っている。1階東南室は個室として使われており、平日は夕方から夜間にかけて在室者がいる。照明、テレビ、人体の発熱、またこたつからの放熱もあって、人がいる間は14~15°Cになっている。他の室は電気カーペットやヒートポンプを適宜用いているが、どの室についても在室者がいる時は15°C近辺になっている。設定温度18°Cが奨励されているなかで低目だが、これは、建物の断熱が十分で冷輻射がなく、室温が低くても快適性が保たれるためと、こたつ、電気カーペット等の採暖あるいは輻射暖房をとっているためである。外断熱RC造のように熱容量が大きい場合、温風暖房に頼ると使い方によってはエネルギー多消費型となる。このことから、こたつや輻射暖房はこの建物の性格にも適合すると思われる。

3.3. 強制加熱実験

熱入力に対する室温の重み関数 $\varphi_{\text{II}}(\tau)$ 、外乱温度に対する室温の重みの関数 $\varphi_{\text{a}}(\tau)$ は次のように表わされる。

$$\varphi_{\text{II}}(\tau) = \mu K_{\text{He}}^{-\mu\tau}$$

$$\varphi_{\text{a}}(\tau) = \lambda K_{\text{Ie}}^{-\lambda\tau}$$

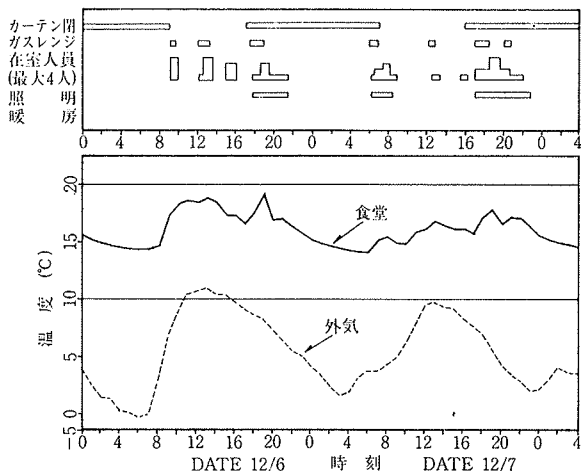


図-5 食堂の室温変動と行動記録

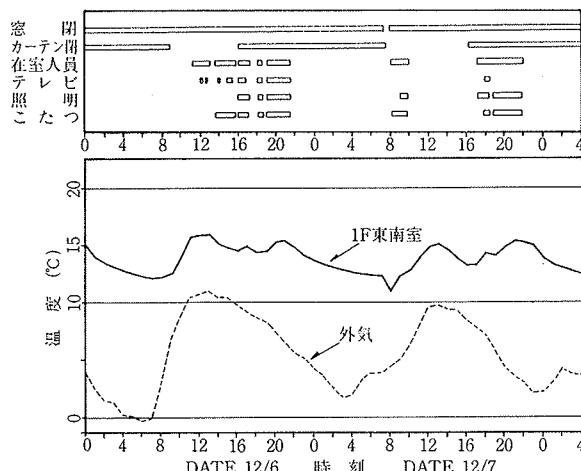


図-6 1階東南室の室温変動と行動記録

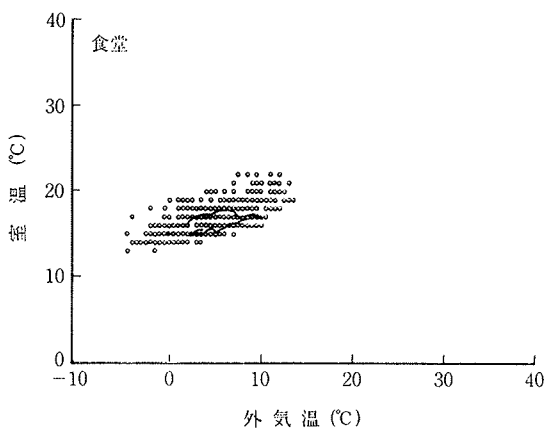


図-7 食堂の室温と外気温の相関

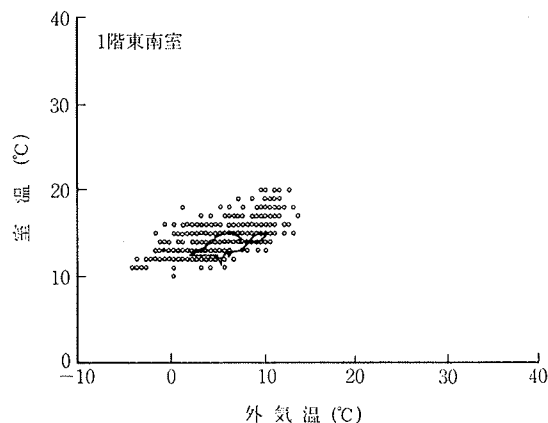


図-8 1階東南室の室温と外気温の相関

但し $K_1: k_1 / \sum k_i$ (k_i は部位の熱コンダクタンス)
 室温 θ_R は外気温 θ_0 , 隣室温 θ_n , 熱入力 H 及び重み関数 $\varphi_H(\tau)$, $\varphi_a(\tau)$ を用いて次式で予測できる。

$$\theta_R = \int_0^t \theta_0(t-\tau) \lambda K_1 e^{-\lambda \tau} a \tau + \int_0^t \theta_n(t-\tau) \lambda K_2 e^{-\lambda \tau} d\tau + \int_0^t H(t-\tau) \mu K_H e^{-\mu \tau} d\tau$$

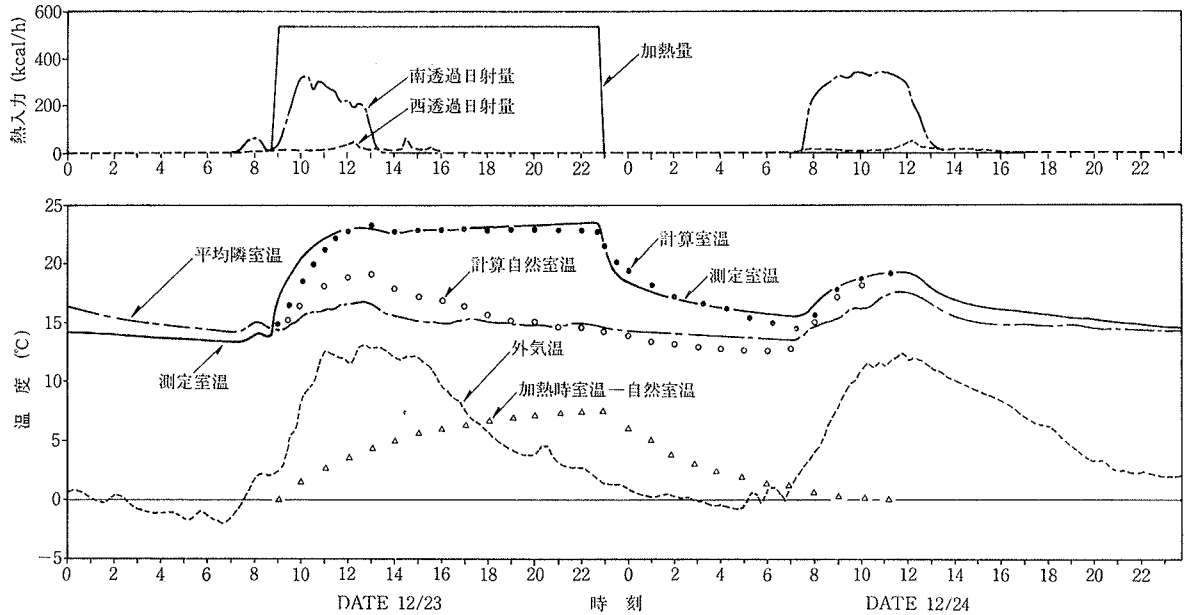
室の総括熱貫流率 W (Kcal/deg·h) と室の熱容量 Q (Kcal/deg) は $\varphi_H(\tau)$ との間に次のような関係がある。

$$\varphi_H(0) = \frac{1}{Q}, \int_0^\infty \varphi_H(\tau) d\tau = \frac{1}{W}$$

K_1, K_2, K_H は重回帰分析により求めた。 λ, μ の値はいくつか用意し、 θ_R の予測値と測定値の差が最小となる組み合わせにした。

図-8 に測定結果と計算値を示す。隣室温には隣接する室の室温を内壁面積で加重平均した平均隣室温を用いた。重回帰分析の結果 W は 246 Kcal/deg·h, Q は 1123.1 Kcal/deg となった。設計図書より各部位の熱貫流率を用いて室の総括熱貫流率を求めると 170 Kcal/deg·h で

あった。これより実験結果は総括熱貫流率を過大に評価していることがわかる。図-9の(加熱時室温-自然室温)は外乱を強制加熱量だけにした時の室温のステップ応答となる。正確な総括熱貫流率を得るためには、これが定常に達するまで加熱を続ける必要がある。各部位の熱貫流率より算出した総括熱貫流率から定常に達した時の(加熱時室温-自然室温)を求めると 12.6 deg, 重回帰分析結果から求めると 8.7 deg, 実際の加熱終了直前の値を続みると 7.7 deg であった。従って、14時間加熱では不十分で、定常に達する以前に加熱を打ち切ったため、見かけ上の総括熱貫流率が增大したことになる。更に加熱時間を延ばせば、総括熱貫流率は小さく熱容量は大きくなるはずである。別のシミュレーションによると、外断熱 RC 造の場合96時間以上の加熱が必要であることがわかった。現在間欠暖房が主流であることを考えると、24時間以上の強制加熱を行わないと正確な総括熱貫流率が得られない場合、総括熱貫流率が実際の熱特性指標となるかどうかは検討を要する。



図—9 強制加熱実験時の熱入力，測定温度および計算温度

4. まとめ

本報告は、住宅の温熱環境の実態を調査し、また、室の熱特性測定法である強制加熱実験を熱容量の大きい室に適用した場合の検討を行なったものである。結果をまとめると以下ようになる。

- (1) 建物の通気気密性は窓の開閉により季節に応じて調節される。測定した住宅は断熱気密住宅であるためその効果が温度に顕著に現われた。また、夏季は通風により各室の温度特性に差がなくなるが、冬季は気密になるためその特徴が明確に現われる。
- (2) 断熱気密性の高い半地下室は、日サイクルより年サイクルの室温変動が主になる。
- (3) 測定した住宅は建物の熱的性能が優れているため、食堂では透過日射と内部発熱だけでだんらん時に17～22℃を保っている。また、他の室も、冷放射がないため14～15℃でもほとんど暖房を必要としておらず、暖房している時も16℃を越えることはあまりなかった。

- (4) 外断熱 RC 造のように熱容量が大きい室に強制加熱実験を適用するにはかなり長時間の加熱が必要である。24 時間以上の加熱を要する場合は、総括熱貫流率が実際の熱特性指標になるかどうか検討する必要がある。

5. 謝辞

本研究は東京電力(株)省エネルギーセンターからの委託研究の一環として行なったものである。関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 石田秀樹，他：開放系住居と閉鎖系住居の夏・冬温度特性，日本建築学会大会北海道支部研究報告集，(昭和55. 3)，pp. 211～214
- 2) 松尾 陽：測定にもとづく室温予測および暖房性能の評価法について，日本建築学会大会学術講演梗概集，(昭和51. 10)，pp. 337～338